

문 활 연 구

# 가솔린 엔진오일의 최적 사용한계 설정에 관한 연구(II)

한국석유품질검사소

## 제3장 결과와 고찰

### 제1절 동력계 시험에서 엔진 오일의 물성 변화

새로 조립하여 작동 조절만 하고 처음으로 사용하는 엔진을 동력계에 부착한 상태에서 오일 A에 관하여 시험하면서 오일을 채취하여 오일의 물성변화를 분석조사 하였다. 첫 시험은 총 100시간 동안 실시하고 오일 샘플은 10시간씩 작동한 후에 채취하였다.

#### 1. 사용유의 물리적 화학적 변화

앞에서 설정한 시험조건을 정확히 유지하면서 오일의 전반적인 물성변화를 조사하기 위한 시험으로써 먼저 점도 변화를 살펴보았다. 시험 오일의 40℃와 100℃에서의 점도변화가 그림2와 같이 사용기간의 증가에 따라 감소하였다. 40℃에서는 초기에 많이 감소하였으나 60시간 이후에는 거의 변화가 없이 일정하게 유지되고 있고 100℃의 점도에서는 10~20시간 동안 사용한 오일은 약간만 감소한 후 같은 수준을 유지하고 있음을 보여준다. 또 점도지수의 크기도 초기를 제외하고 일정한 값을 갖기므로써 엔진에 무리가 없는 작동의 경우에는 특히 새 엔진인 경우에 저온 점도의 감소가 매우 완만하게 일어나고 고온의 점도 변화는 비교적 적었다.

오일의 산화 정도와 화학적 변화를 나타내는 산화도(Oxidation), 질화도(Nitration)과 황화정도

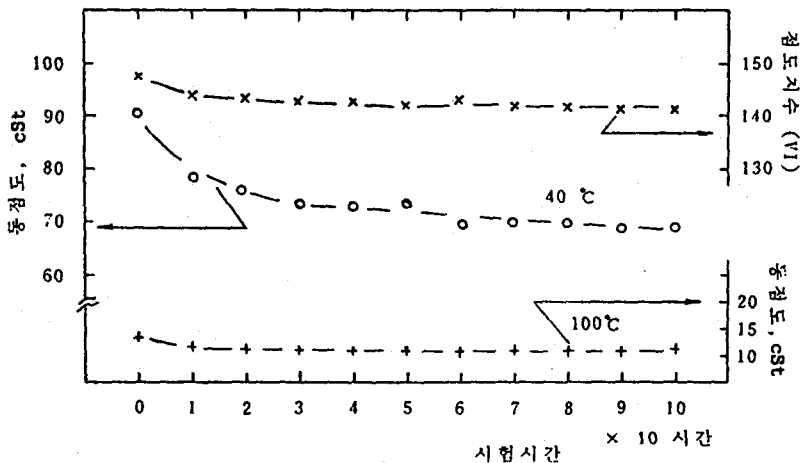


그림2. 시험시간에 대한 동점도와 점도지수의 변화

(Sulfation)의 변화가 그림3에 제시되어 있다. 모든 오일의 경우에 고온, 고속 마찰과정에서 산화반응 등 화학적 변화가 발생하는데 이것은 엔진의 작동조건과 사용오일에 크게 영향을 받는다. 따라서 성질변화의 경향을 상호 연관성과 함께 면밀히 살펴볼 필요가 있다. 그림3에서 작동시간의 증가에 따라 Oxidation, Nitration과 Sulfation이 일정하게 선형적으로 증가하고 있음을 보여주고 있다. 이것은 내 마모성에 영향을 주는 ZDTP의 고갈인자(Depletion Factor)의 증가와 관련이 있으며 그림4에서와 같이 Zn농도의 감소 경향이 일정하지는 않으나 상관성이 있음을 보여 주고 있다.

또 P나 Ca등의 농도도 감소경향을 갖지만 일정하지 않아 그림으로 비교하지 않았다. 그림5는 사용유의 마찰계수 변화를 나타낸 것으로서 점도 감소에 의한 원인과 첨가제등의 영향이 혼합된 것으로 볼 수 있다. 27°C에서 마찰계수는 30시간 작동까지는 선형으로 증가하다가 그후부터 80시간까지 일정한 값을 갖인 후에 약간 감소하고 있음을 보여 주고 있고 95°C의 경우에는 마찰계수가 27°C보다 작은 0.9에서 0.135정도로 40시간 사용유까지 증가한 후에는 약간만 증가하고 있다.

따라서 저온 점도 변화가 고온 점도 변화보다 더 크지만 마찰계수는 고온에서 더 많이 증가함으로

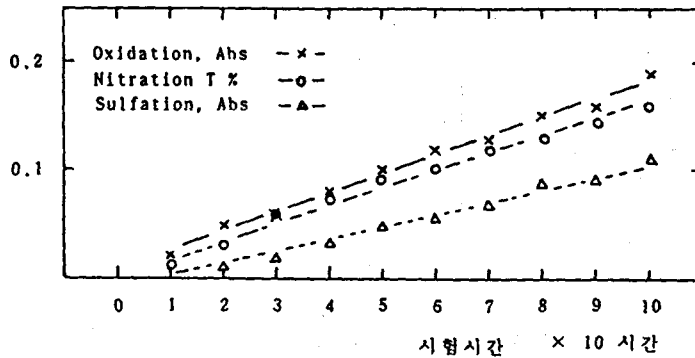


그림3. 시험시간에 대한 화학 물성의 변화

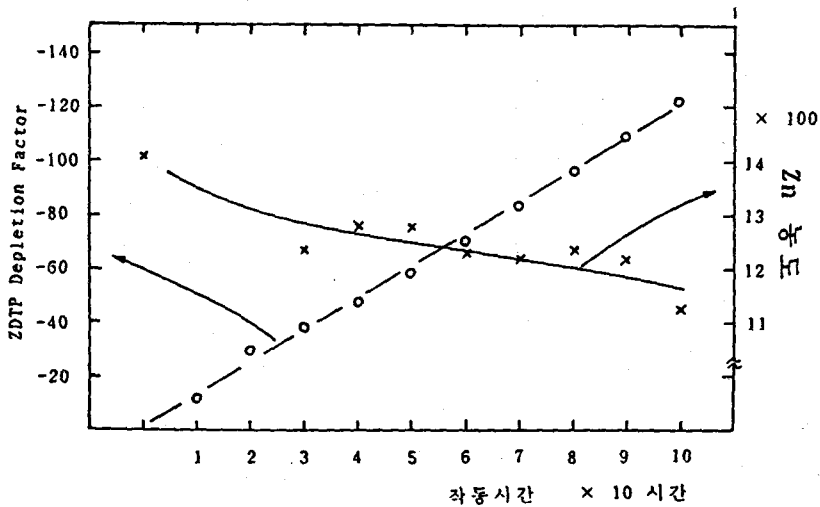


그림4. 시험시간에 대한 ZDTP의 고갈정도와 Zn농도 변화

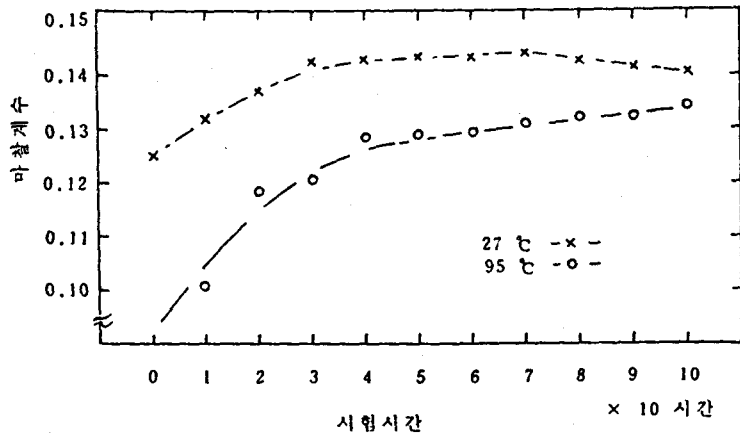


그림5. 시험시간에 대한 마찰계수의 변화

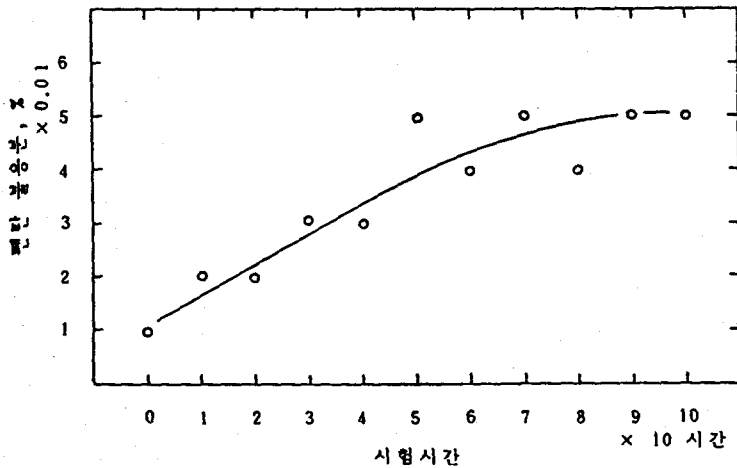


그림6. 시험시간에 대한 패탄 불용성분

써 마찰계수가 오일의 점도변화만에 영향받지 않음을 보여주고 있으며 사용시간이 증가할수록 엔진 작동 중에 마찰이 증가하고 있음을 의미한다.

불용성분중 페탄의 함유량은 사용기간의 증가에 따라 그림6과 같이 작동 초기에는 증가하지만 50 시간 사용 이후에는 거의 일정한 값을 갖고 0.04~0.05%로써 비교적 작은 양이므로 엔진 작동과정 중에 생성이 비교적 적음을 알 수 있다. 엔진 오일에 포함된 수분의 양은 오일자체의 물성보다는 엔진과 작동조건에 영향을 많이 받는 것으로써 오일사용 시간의 증가에 따라 점차 증가하고 있음을 그림7에서 보여주지만 70시간 사용 이후에는 오히려 감소함으로써 엔진 열화와 상호관련성을 갖지 않는 것으로 나타났다.

금속의 함유 농도에 관한 AA분석결과가 그림8에서 보여준다. 마모입자 크기가 5~10 $\mu\text{m}$ 이하인 경우만이 측정되기 때문에 큰 입자가 분석되지 않을 수 있으므로 Ferrography의 분석 결과와 비교하

여 설명되어야 한다. 또 오일이 filter에서 여과되므로 정확한 마모경향의 분석이 쉽지 않은 점이 있다. 그림9는 Fe, Cu와 Al에 대한 분석결과로서 Fe와 Cu는 사용시간에 따라 일정하게 증가하지만 Al은 증가정도가 비교적 매우 작음을 보여준다. 또 작동 초기에만 증가율이 크고 40시간 이후에는 비교적 적은 편으로 엔진에 무리가 없으면 마모가 많이 일어나지 않음을 알 수 있다.

오일의 화학적 반응성을 나타내는 전산가(TAN)와 전 알카리가(TBN)의 변화를 그림10에서 보여 준다. 전산가는 초기에 감소하다가 30시간과 40시간 작동 이후에는 오히려 증가하였고 그후 다시 감소한 후에 90시간 이상에서 증가하고 있음을 보여준다. 그러나 전 알카리가는 전반적으로 감소하고 있으나 초기 작동의 경우를 제외하고 변화의 경향이 일정 하지 않고 산만하게 나타나서 오일의 열화

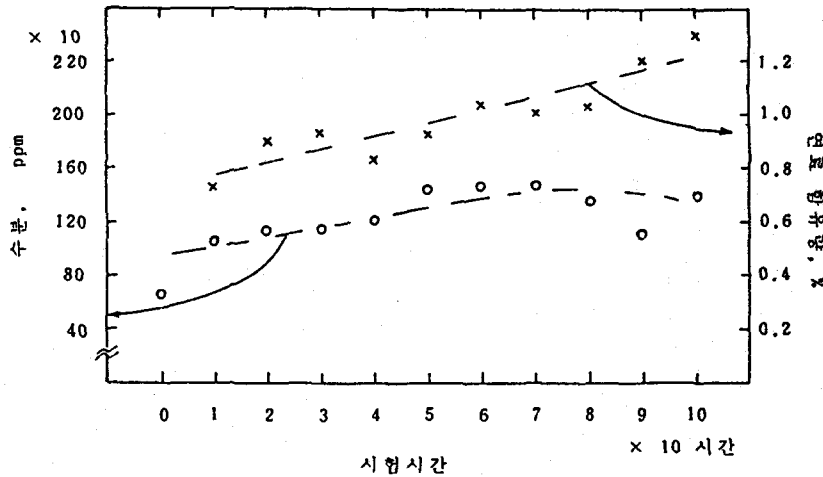


그림7. 시험시간에 대한 수분과 연료의 함량

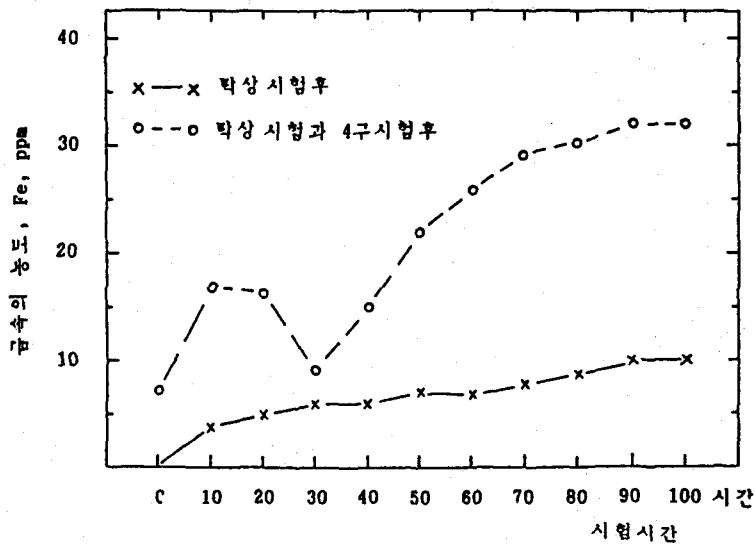


그림8. 시험시간에 대한 Fe(철)의 농도

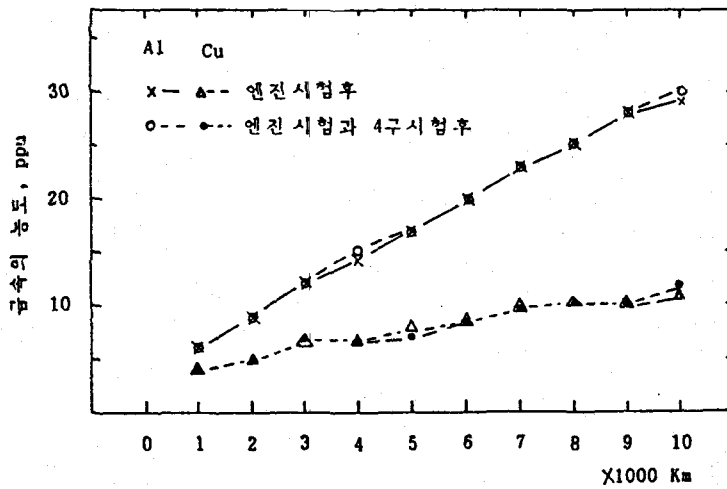


그림9. 시험시간에 대한 Cu, Al의 농도

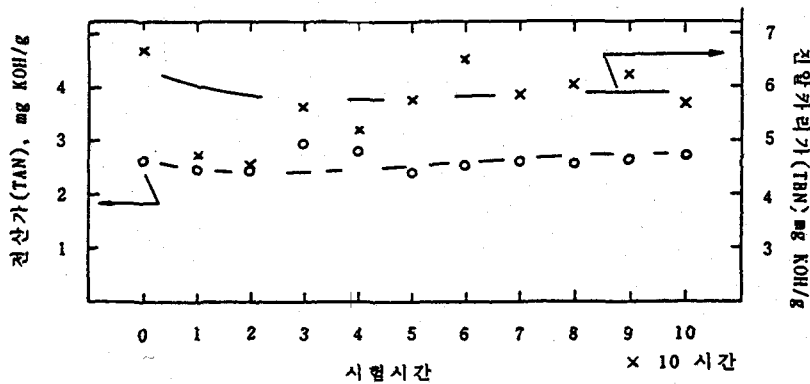


그림10. 시험시간에 대한 전산가와 알카리가의 변화

정도 판단에 충분한 자료로서의 가치를 갖지 않는다.

신유와 사용유에 대한 첨가제의 농도와 적외선 분광 분석에 의한 화학적인 분석자료를 부록1에 첨부하였다. 동력계 시험에 의한 엔진유의 사용 시간에 따른 화학적 물성이 변화하는 경향을 보여 주고 있고 실차 시험등 다른 시험유의 분석에서 비교 자료로 이용될 수 있을 것이다.

## 2. 사용유의 기계적 성질 변화

사용유의 기계적 성질변화는 실질적으로 엔진 오일의 물성중 가장 중요한 내 마모성과 마찰 손실 정도 및 scoring발생 가능성을 제외함으로써 오일 수명 결정에 가장 중요한 요소로 고려되어야 한다. 특히 엔진 수명의 결정이 캠이나 테핏, 시린더 벽과 피스톤링 그리고 각종 베어링의 마모정도에 따른 고장 발생이나 성능 감소에 의해 지배되므로 기계적 성질은 다른 성질 변화와 함께 분석하여 오일의 열화정도를 살펴보기로 한다.

새 오일과 사용중에 채취된 샘플오일(사용유)의 내 마모성과 사용에 따른 변화를 조사한 4-ball

시험의 결과를 그림11에서 보여준다. 새오일보다 20시간 사용까지는 마모 직경이 증가하였으나 30시간에서는 감소하여 최소가 된 후에 다시 점진적으로 증가하였다. 또 4-ball 시험유에 대한 오일의 금속 성분 분석의 결과에서도 그림8에서와 같이 30시간에서 감소 경향이 뚜렷하였고 그 후에 증가추세가 마모 직경의 변화와 비슷하게 나타나서 오일의 내 마모 성능이 사용초기에는 감소후 다시 증가하였다가 점진적으로 감소하고 있음을 알 수 있다. 이 경향은 아직 문헌상에 나타나지 않은 사실로써 그 원인과 과정을 살펴보기로 한다.

엔진 사용 30시간에서 내 마모성과 오일의 물성 변화와 상호 연관시킬 수 있는 성질은 전산가 밖에 없었다. 즉 전산가가 감소하다가 30시간과 40시간에서 증가함으로써 오일의 화학적 반응성이 보다 활발하게 되고 내마모 기능이 향상된 것으로 판단되고 다른 물성 변화와는 직접적으로 상관성을 찾을 수 없다.

또 4-ball 시험중에 사용유들의 마찰계수(력)의 변화를 살펴보기 위하여 그림12-a와 12-b에 비교하여 제시하였다. 일정한 마찰계수에서 마찰작용중에 크기가 증가하는 경우는 두가지로 구분된다. 먼저 마찰계수가 점진적으로 증가를 하는 경우로써, scoring이라 정의하고 이 과정에서 마찰 초기에 생성된 피막(내 마모, 내 마찰성을 갖임)인 첨가제에 의한 영향을 많이 받은 것으로 부터 새로운 피막으로 점차 전환되는 경우이며 또 다른 경우는 다른 피막으로 전환되는 과정이 아주 짧은 순간에 기존 피막이 완전히 벗겨지면서 새로운 피막이 형성되기 직전에 금속 접촉이 생기게 되어 마찰계수가 급격히 증가하게 되고 아울러 금속간의 마찰에 의한 많은 마모를 수반하는 scuffing으로 정의되는 것이다.

이 두가지 모두 윤활 마찰에서 바람직 하지 않으나 scuffing은 더욱 나쁜 현상으로써 계속될 경우 마모가 급격히 증가하고 소음과 진동이 수반되며 더욱 심하면 불꽃이 튀기는 경우가 있다. 대부분이 오일의 내 마모 성능 저하에 기인하고 작동조건에 비해 특히 EP첨가제등 첨가제의 기능이 약화 또는 고갈 즉 열화에 그 원인이 있으며 좋은 오일도 장기간 사용에 따라 열화가 심한 경우에 자주 일어나는 현상이다.

대개 질이 좋은 우수한 오일은 scoring이나 scuffing이 생기지 않고 낮은 마찰과 적은 마모를 갖게 하므로써 기계의 성능 유지와 수명을 증대시켜 준다. 그림12에서 보면 새 오일을 포함하여 모든 사

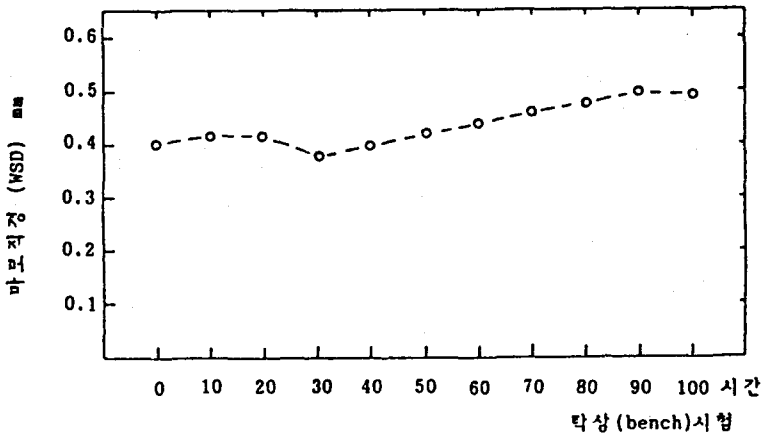


그림11. 시험시간에 대한 4-ball 시험 결과

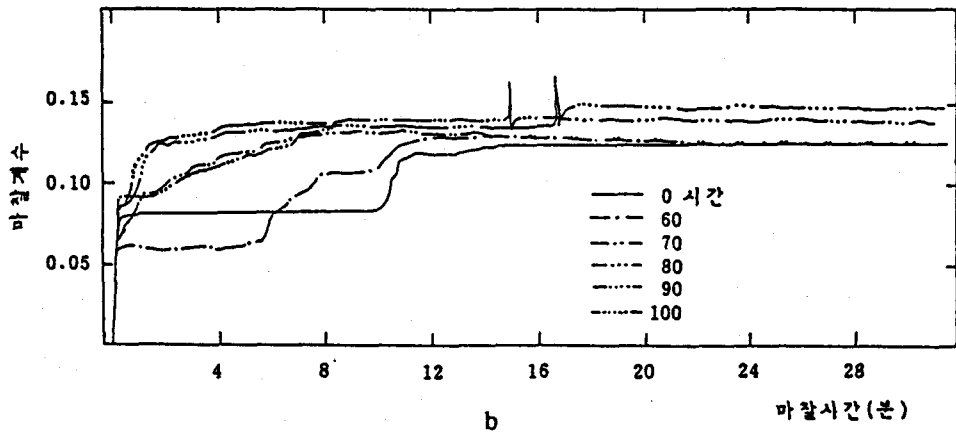
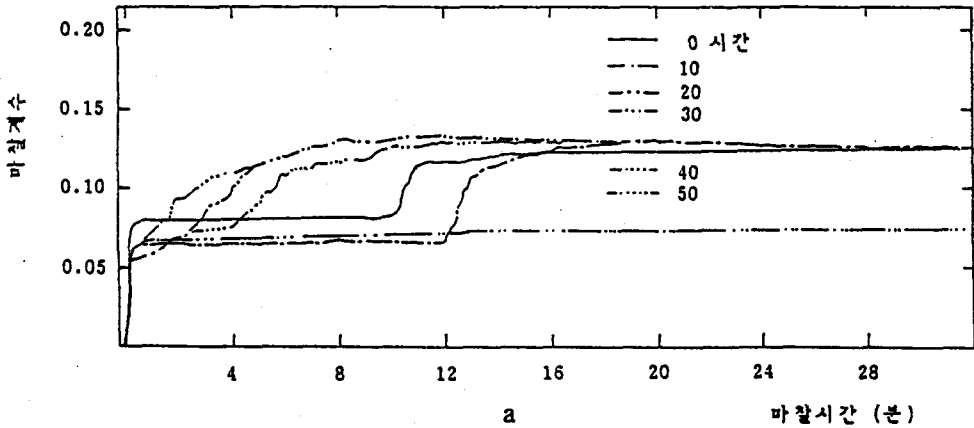


그림12. 사용유 4-ball시험에 대한 마찰계수의 변화

용 오일에 scoring현상이 발생하였으나 30시간을 사용한 오일만이 마찰계수의 증가현상이 발생하지 않았다. 발생 시간은 10시간 사용 오일이 가장 늦고 50시간을 사용한 오일이 가장 빠르나 전체적으로 일관성은 없고 scoring후에는 모든 오일의 마찰계수가 0.125정도로 일정한 값을 갖고 있음을 보여준다.

또 그림12에서는 90과 100시간 동안 시험에 사용한 오일의 경우에는 첨가제가 전연 포함되지 않은 기유에서 발생하는 scuffing현상이 생기었고 다른 오일은 scoring 현상만 발생하였다. scuffing이 일어난후 마찰계수는 증가하며 90시간, 100시간 순으로 커졌으며 0.15정도로 접근하고 있음을 보여 준다. 여기에서 보면 엔진오일은 사용정도에 따라 물성변화가 내 마모성 변화뿐만 아니라 접촉면의 피막 생성과 벗겨지는 과정에 관련되어 마찰계수의 변화를 초래하면서 scuffing현상까지 일으키고 마모를 증가시키므로 오일의 열화 판단 근거로 매우 중요한 기준이 될 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 4-ball시험한 ball의 마모면 사진을 그림13에 열거하였다. 확대 비율이 100배로써 마모면에 형성된 피막이나 마모 형상을 보여준다. 마찰 전이가 발생한 경우에는 피막 제거과정에서 생성되는 금속 마모의 원인으로 마모 흔적이 일정한 원형을 형성하지 못하고 톱니 자국을 보여주고 있

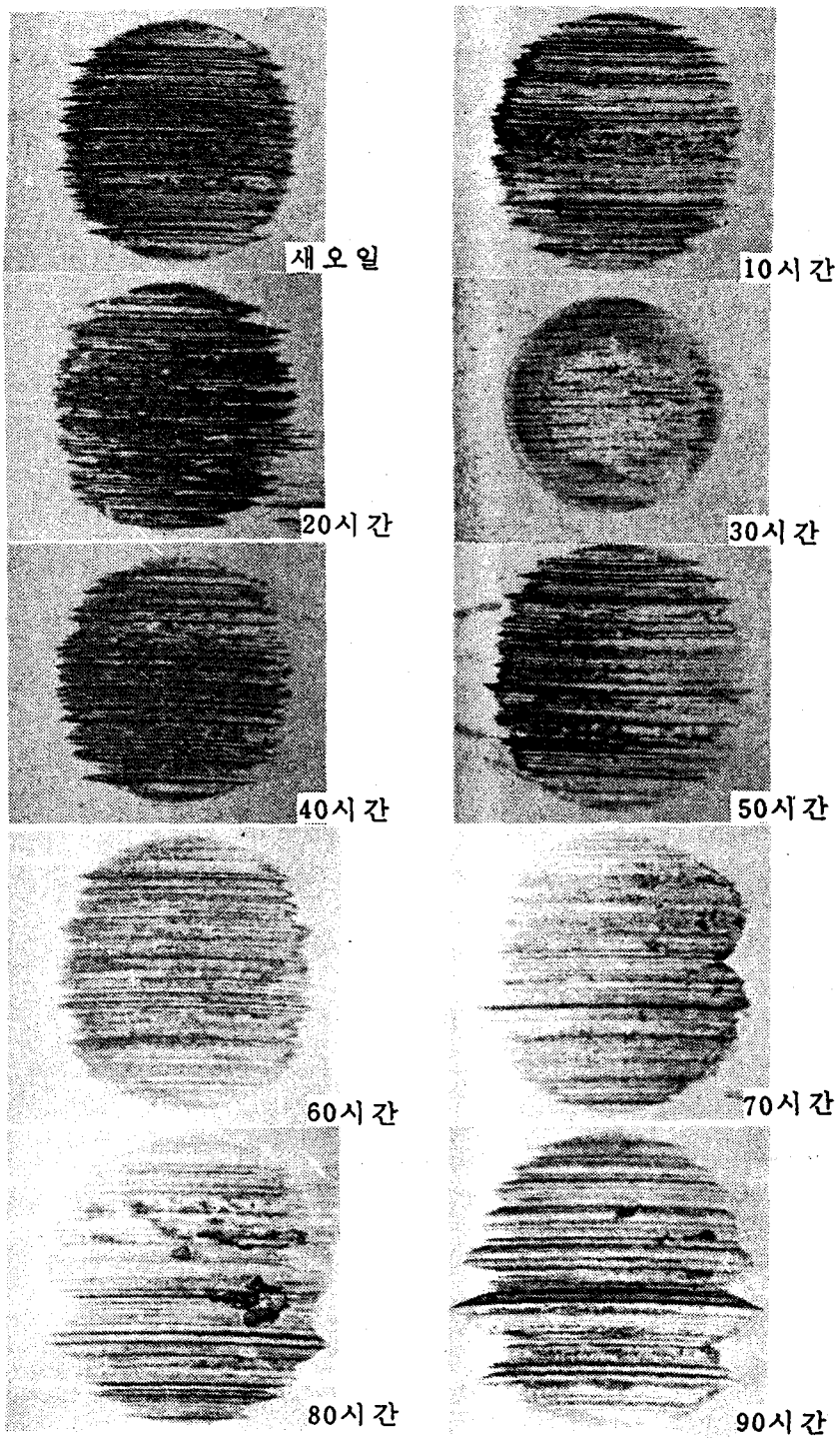


그림13. 사용유 4-ball 시험볼의 마찰면 사진



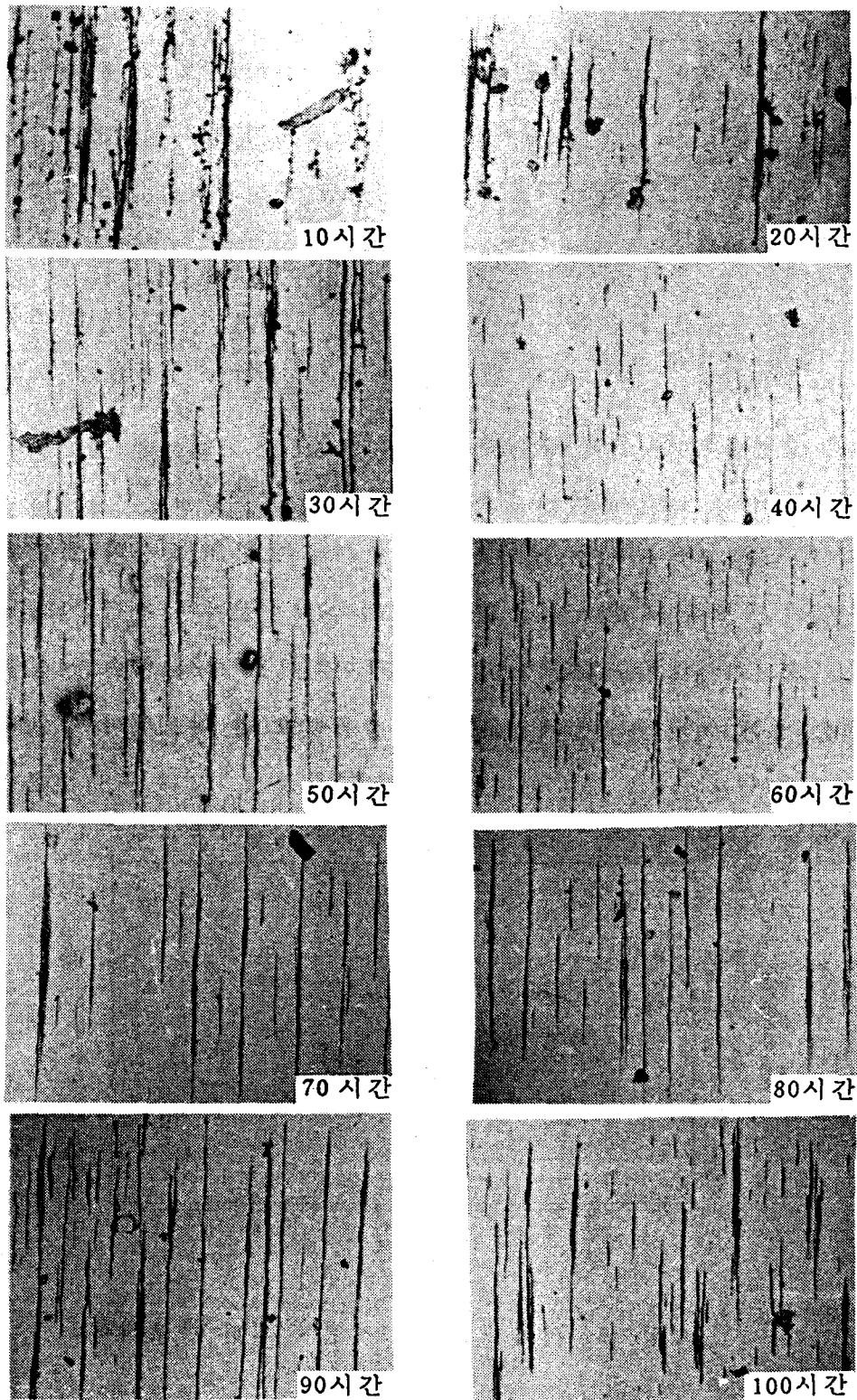


그림14. 사용유의 Ferrogram사진

으나 피막 전이가 없는 30시간 사용유를 시험한 오일은 완전한 원형을 유지하면서 중간부분에 잔류하고 있는 초기 형성된 첨가제 피막을 볼 수 있다. 아직 남아 있는 원인은 피막의 성질이 충분히 우수하여 마찰과정에서 벗겨 지지 않았기 때문이고 그에 따라 마모가 적고 마찰계수의 전이가 발생하지 않은 것으로 판단된다. 70시간 사용유 부터는 마찰면에 2차 피막 마저 벗겨지는 과정에 있으며 피막이 벗겨지면서 묻쳐있는 덩어리들을 보여주고 있다. 그러나 13-a에서와 같이 따라서 마찰면에 형성되는 윤활 피막 성분이 마찰면의 마모나 마찰계수의 변화에 많은 영향을 주고 이것은 오일이 갖고 있는 기본 성질 변화여부를 판단하는 확실한 자료를 제공하고 있음을 알 수 있다.

엔진 오일속에 포함된 마모입자 분석을 위하여 Ferrography를 이용하여 Ferrogram을 만들었고 그 결과를 그림14에서 보여주고 있다. 이번에 시험한 엔진이 새 것으로 길들이기 과정을 거치지 않은 것으로써 길들이기 과정의 마모입자 생성에서 입자 형상이나 크기등을 관찰할 수 있다. 그림(1)에서 10시간 작동한 경우의 오일에는 비 자성을 띤 커다란 입자와 모래등의 입자(주물사의 일종)가 많이 분포되었고 금속 특히 자성을 갖는 철 성분은 띠를 이루면서 약간만 분포하여 오일의 순환중에 마모 입자등이 오일에 포함되었으나 아직 여과기에서 여과되지 않았음을 보여 준다. 작동시간이 길어질수록 비 자성 입자의 수나 크기가 작아지고 대신 철의 성분이 증가되어 90시간과 100시간을 사용한 오일은 비교적 많은 작은 마모 입자의 금속 성분이 오일 속에 포함되어 있음을 보여주며 입자 생성 상태에 의하면 길들이기가 30시간에서 끝난 것으로 판단된다. 이것은 가혹성을 고려하면 주행거리로 1000~2000km 범위가 될 것이다.

### 3. 오일 종류에 따른 동력계 시험

A, B오일을 200시간씩 동력계 시험을 하고 그 결과를 비교 분석하였다. 먼저 내 마모성에 대한 시험으로 4-ball 시험후 마모직경의 크기의 비교를 그림15에서 보여 준다. 신유나 초기 작동중의 오일에서는 A오일이 우수한 내 마모성을 가지나 70시간 작동이후 부터 130시간까지는 B오일이 더 우수함을 보여주고 그 이후에는 서로 비슷한 경향을 갖는다. 1회의 동력계 시험에서와 같이 사용중에 내 마모성이 향상되는 경우가 발생하는데 이 현상은 사용유의 사용시간이 A오일의 경우 70시간

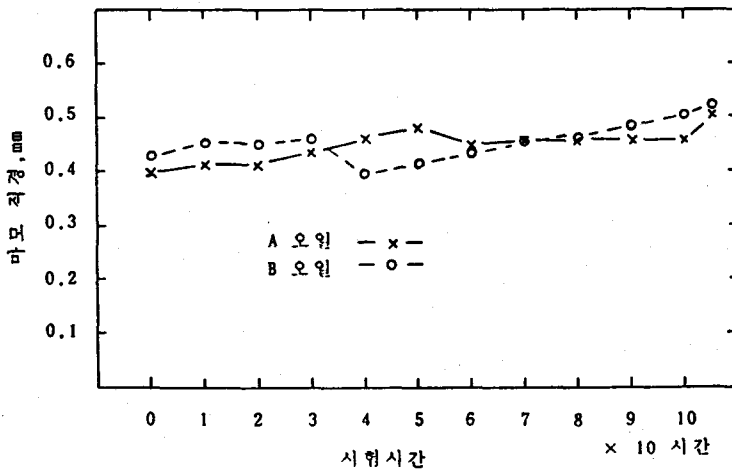


그림15. 사용유 4-ball시험에 의한 마모직경

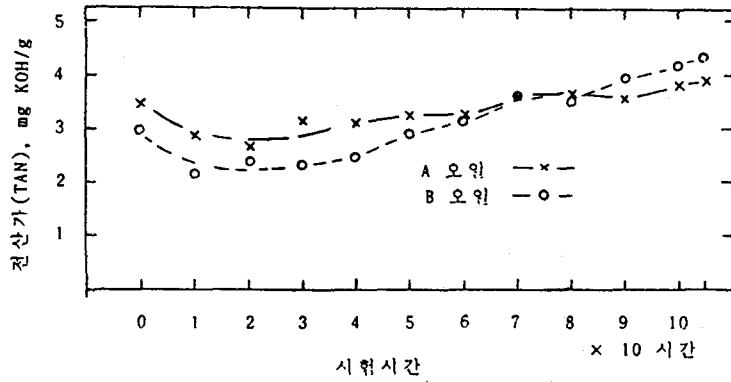


그림16. 사용유의 전산가

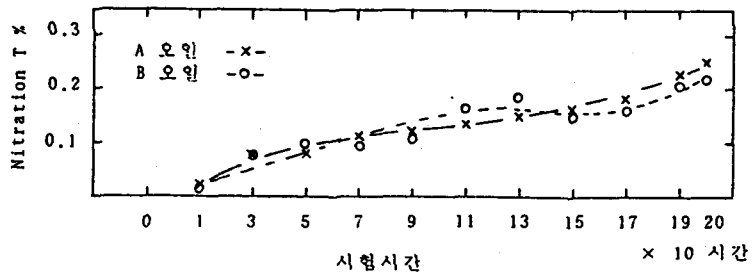
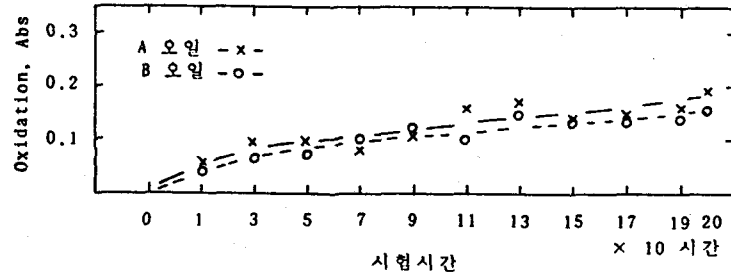
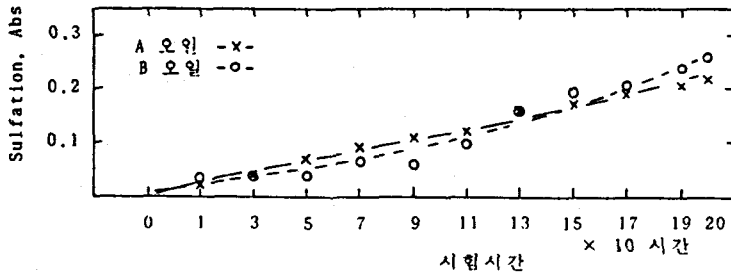


그림17. 사용유의 화학 물성 변화

에서 한번 발생하고 110에서 또 한번 나타났으며 B오일은 70시간에서 한번만 나타났다.

이 오일들의 전산가는 그림16에서와 같이 다른 오일보다 낮은 수준이므로 전산가와외 상호 상관 관계를 갖고 있음을 보여 주고 있다. 또 A, B오일 모두 전산가의 변화에서 사용중에 낮아졌다가 다시 증가하는 경향을 갖고 있으나 그 변화 정도는 B오일이 더 심하며 특히 170시간 이상에서는 전산가가 A오일보다도 더 높았다. 이때에 마모 직경의 결과에서 내 마모성이 급격히 나빠졌음을 보여주고 B오일의 경우는 190시간에서 마모직경의 이 급격히 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 전산가의 변화에서는 첨가제의 화학적 작용에 의한 원인으로 나타나는 현상이므로 엔진 작동에 의해 처음에는 전산가가 감소하는 경향을 갖으면서 내 마모성이 향상되었지만 다시 증가하면서 마모가 심하게 일어나게 되고 그 증가 정도가 크면 클수록 더 많은 영향을 받으므로 엔진 오일의 열화정도에 중요한 판단 근거가 됨을 확인할 수 있다.

그 다음으로 오일의 화학적 성질변화로써 황화정도(Sulfation)와 질산화 정도(Nitration) 그리고 산화정도(Oxidation)를 그림17에서 비교하여 제시하였다. 작동시간이 길어지면 모두 증가하는 경향을 갖고 있지만 변화정도가 B오일이 비교적 선형적인 반면에 A오일은 기복을 갖고 변화하고 있음을 보여준다. 사용시간이 증가하여 150시간 이후에서는 산화정도만이 B오일이 작고 다른 성질은 모두 A오일이 상대적으로 더 변화하였으며 이때부터 마모 직경도 B오일이 더 증가한 것과 상호 연관성을 갖고 있는 것 같다.

ZDTP 고갈인자(Depletion Factor)에서는 A, B오일 모두 선형적으로 감소하다가 그림18과 같이 130시간 이후부터는 감소율이 작아지는 경향이 있고 전반적으로 A오일이 더 많이 감소하고 있으며

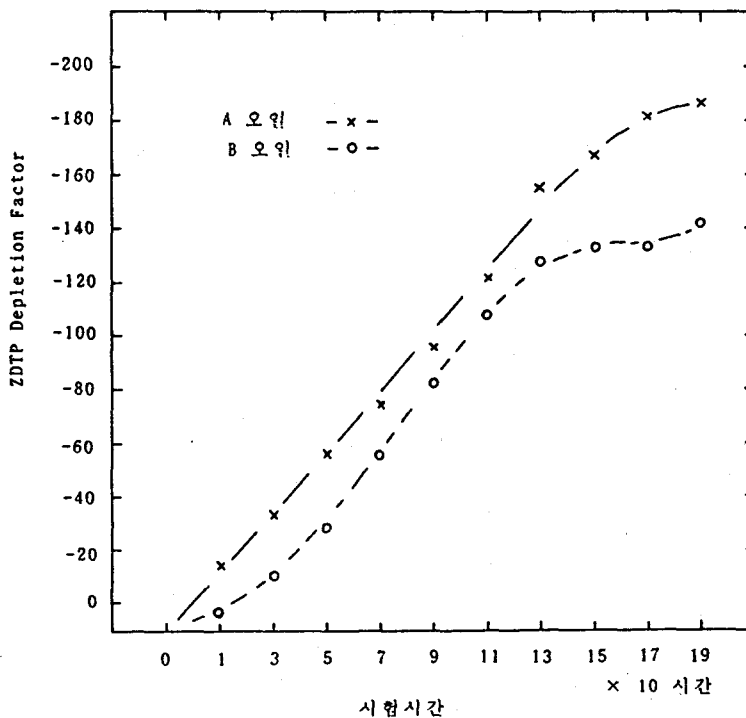


그림18. 실차 사용유의 ZDTP의 고갈정도

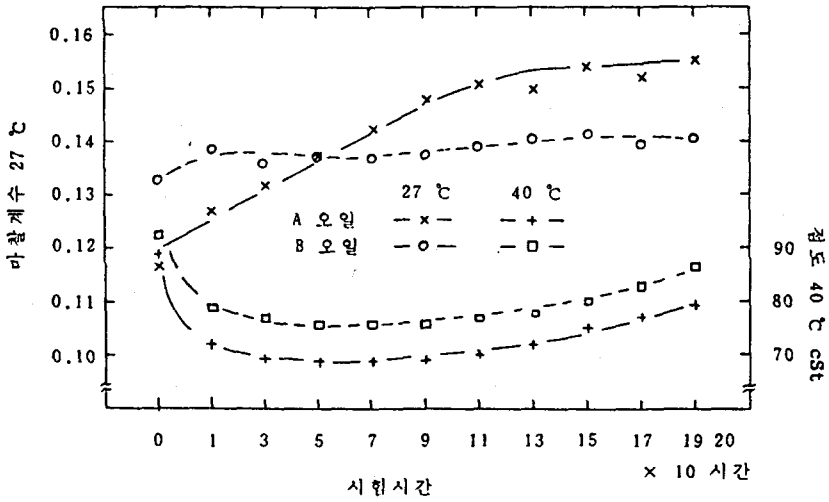


그림19. 실차 사용유의 마찰계수와 동점도 변화

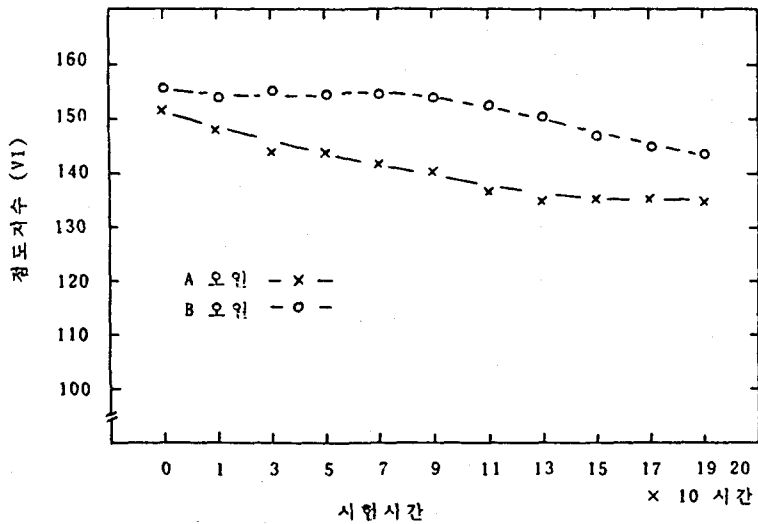


그림20. 실차 사용유의 점도지수의 변화

특히 130시간 이후 B 오일은 변화가 작으나 A 오일은 계속 감소하고 있음을 보여준다. 27°C에서 마찰계수와 40°C에서의 점도를 보여주는 그림19에서 점도는 모든 오일에서 B 오일이 A 오일보다 약 5cSt 정도 크고 모두 처음에는 감소하다가 다시 점차 증가하고 있으나 마찰계수에서 B 오일은 크게 변화가 없으나 A 오일이 선형적으로 증가하고 있음을 보여준다.

그 원인으로는 마찰계수가 완전윤활이나 혼합윤활에서는 점도의 영향을 주로 받지만 경계윤활 구역에서는 첨가제와 마찰중에 형성되는 반응 생성피막에 의해 주로 지배를 받기 때문이며 EHD의 영향도 함께 미치기 때문이다. 그림20에서 VI의 변화를 보면 B 오일은 초기에 비교적 변화가 적으나

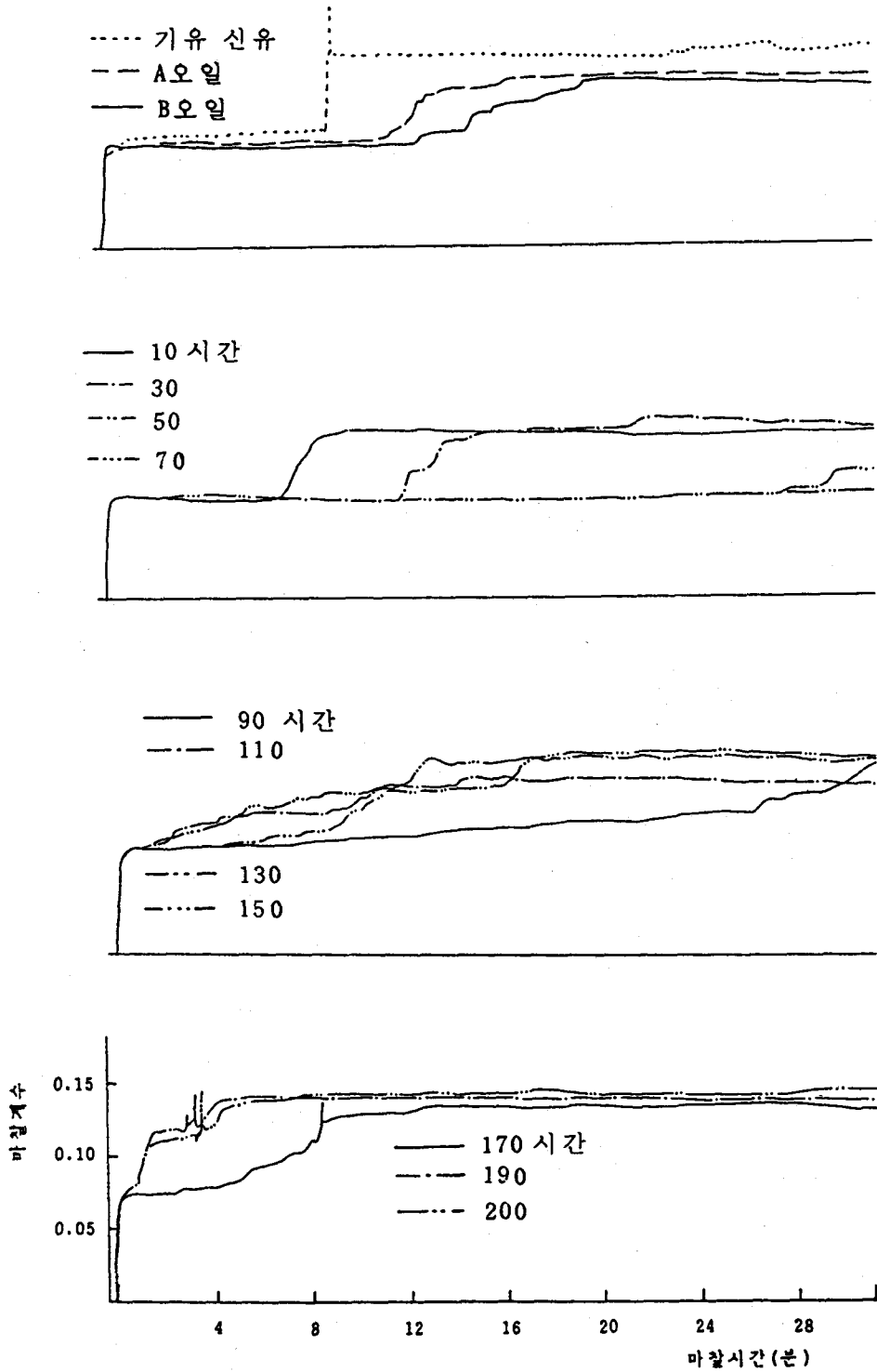


그림21. 실차 사용유의 4-ball 시험시 마찰계수(B오일)

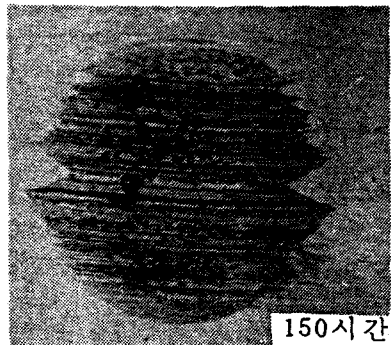
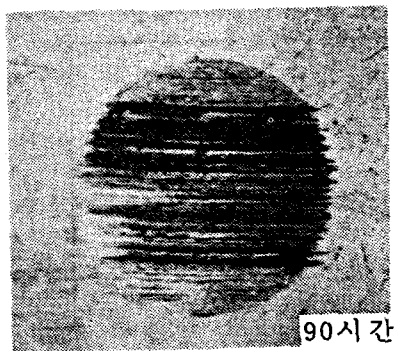
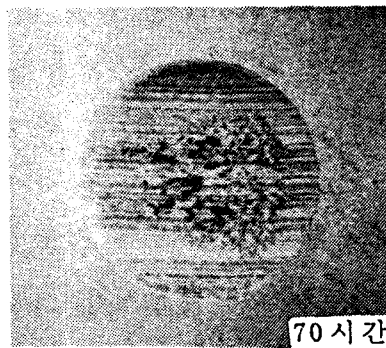
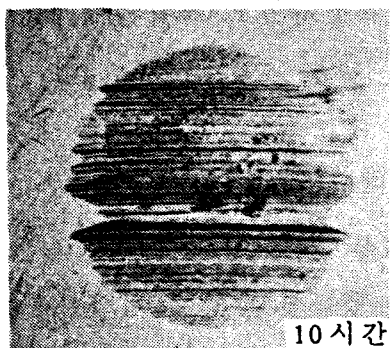
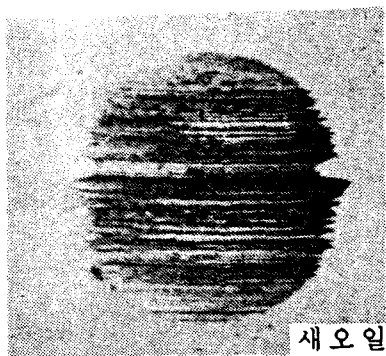


그림22. 실차 사용유의 4-ball 시험후 마찰면 사진

A오일은 초기에 감소하다가 사용 시간이 길어지면 변화율이 작아짐을 알 수 있다. 즉 B오일이 짧은 주행거리에서는 점도 지수의 변화가 안정적임을 보여 주나 150시간 이상 되면 오일의 열화등의 원인으로 심하게 변하면서 VI의 성질을 계속해서 잃고 있음을 보여준다.

그림21은 B오일의 마찰력 변화를 나타낸 것으로써 마모 직경이 가장 작았던 70시간 사용유를 제외하고 모두 scoring현상을 갖고 있으며 170시간 이후의 오일은 scoring과 scuffing현상이 모두 발생하였음을 보여준다. 즉 마찰력 변화에서 170시간이 사용한계로 볼 수 있고 시험 오일중 최적 상태는 마찰과 마모가 최소인 경우는 70시간을 사용한 오일이 된다. B오일의 시험에서 마찰 표면의 사진을 그림22와 같이 열거하였고 마모 직경의 변화와 관련하여 새 오일과 함께 살펴보면 초기 사용유와 장시간 사용한 오일은 모두 톱니모양의 마모흔적과 피막의 덩어리가 표면에 남아 있으나 70시간 사용유에서는 톱니자국이 없고 뭉쳐진 작은피막 덩어리만 중간에 존재하며 완전한 원모양의 마모 흔적을 유지하고 있음을 보여 준다.

**적절한 유행관리로 에너지 절감효과 높입니다.**

**적정교환 주기지켜 에너지 절약·환경보전**